

용접입열이 Alloy 59 용접부 강도와 미세균열에 미치는 영향 Effect of heat input on the strength & micro-fissuring of alloy 59 weld

최 준태*, 김 영일**, 김 대순***

* 현대중공업 산업기술연구소 용접연구실

** 현대중공업 산업기술연구소 용접연구실

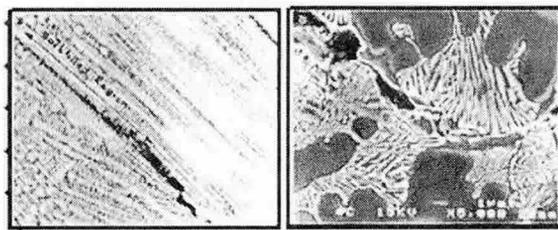
*** 현대중공업 산업기술연구소 용접연구실

ABSTRACT Compared with Inconel 625 (ERNiCrMo-3) weld, Nb-free Alloy 59 (ERNiCrMo-13) weld with 15% Mo showed much higher resistance to hot cracking. Especially in the condition of current 350A and 30CPM of welding speed, no crack was detected at Inconel 625 fillet weld. Furthermore, it was found that the strength of Alloy 59 is sensitive to welding heat input. Up to around 14kJ/cm of heat input, Alloy 59 showed 678N/mm² of ultimate strength and 466N/mm² of yield strength. However, as heat input increased above 14kJ/cm, Alloy 59 weld could not satisfy the weld strength required for European LNG tank.

1. 서 론

국내, 외적으로 9% Ni 강을 이용한 LNG 저장 탱크 설치가 급증하면서 LNG 저장탱크 용접에 사용되는 Ni계 용접재료 수요도 함께 증가하고 있는 추세이다. 지금까지 9% Ni 강 용접재료로는 3-4% Nb을 함유한 Inconel 625 (ERNiCrMo-3)가 가장 널리 사용되어 왔지만, 용접부 강도 확보를 목적으로 첨가된 Nb이 고온균열 (hot crack)의 원인이 되면서 Mo 함유량이 높은 Alloy 59 (ERNiCrMo-13) 용접재료를 사용해 고온균열을 방지하고 용접 생산성을 확보하려는 노력이 진행되고 있다. 그림 1은 Inconel 625 용접부의 고온균열과 Nb-공정 석출물 (eutectic precipitator)을 보여주고 있다. 본보에서는 Inconel 625와 Alloy 59의 고온균열 민감성을 비교하고, 이와 더불어 입열에 따른 Alloy 59 용접부의 강도 변화를 관찰하였다.

그림 1 : Inconel 625 용접부의 균열 및 Nb-공정 석출물



2. 실험 방법

9% Ni강 용접에 사용되는 Ni계 용접재료의 고온균열 특성과 입열에 따른 용접부 강도 특성을 확인하기 위해 필렛 고온균열 시험과 개선 용접부에 대한 인장시험을 실시하였다.

2.1 실험 재료

시험용 강재로는 QT 열처리된 9% Ni 강 (ASTM A553) 그리고 용접재료는 Inconel 625와 Alloy 59를 사용하였다. 아래 표 1과 2에서는 9% Ni 강, Inconel 625 그리고 Alloy 59 SA 와이어의 화학조성을 보여주고 있다.

표 1 : 9% Ni 강 화학조성 (wt.%)

사 양	C	Si	Mn	P	S	Ni
A553	0.035	0.251	0.563	0.003	0.004	9.08

표 2 : SA 와이어 화학조성(wt.%)

사 양	Ni	Cr	Mo	Nb+Ta
Inconel 625	61.0	22.0	9.0	3.6
Alloy 59	61.4	22.6	15.5	0.03

2.2 용접 및 시험방법

Inconel 625와 Alloy 59 SA 용접부의 고온균열 민감성을 평가하기 위하여 용접 전류와 속도를 변화시키면서 그림 2와 같은 필렛 용접 시험편을 용접하고 PT (dye penetrant test)를 실시하여 균열 발생 정도를 비교하였다. 아래 표 3은 사용된 용접조건을 보여 주고 있다.

합금원소로 Nb이 첨가되지 않은 Alloy 59에 대해서는 아래 표 4와 같이 세가지 입열조건에 대해 용접부 강도 측정하고, 미세조직을 관찰하였다. 그림 3은 입열 12.6kJ/cm과 14.3kJ/cm에서 용접된 시편의 매크로 형상을 보여주고 있다.

그림 2 : 필렛 균열시험편 형상

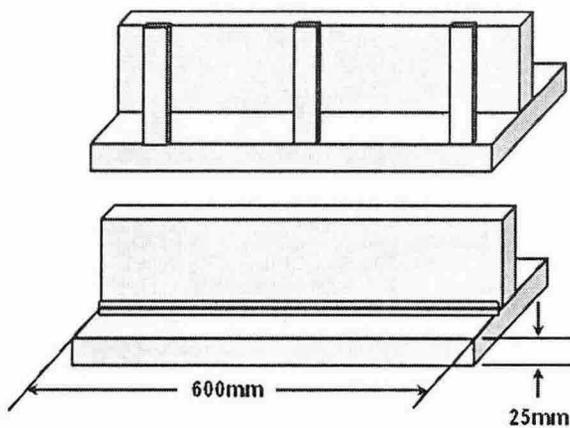


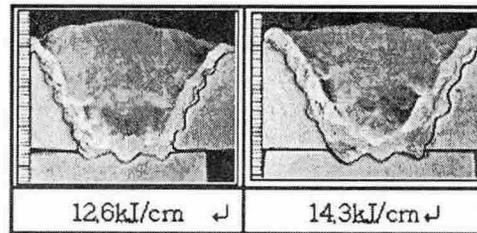
표 3 : 필렛 균열시험 용접조건

종 류	전 류 (A)	전 압 (V)	속 도 (CPM)	입 열 (kJ/cm)
FA	350	34	30	23.8
FB	350	34	40	17.9
FC	400	34	40	20.4
FD	450	34	53	17.3
FE	350	32	58	11.6
FF	380	33	55	13.7
FG	400	33	40	19.8

표 4 : Alloy 59 개선 용접시험 조건

종 류	전 류 (A)	전 압 (V)	속 도 (CPM)	입 열 (kJ/cm)
GA	380	32	58	12.6
GB	420	33	58	14.3
GC	450	34	40	23.0

그림 3 : Alloy 59 용접부 매크로 형상



3. 실험 결과

필렛 고온균열 시험편에 대한 PT 시험결과 Alloy 59 용접부는 모든 시험조건에서 균열이 발생하지 않았지만, Inconel 625 용접부는 전류 300A, 속도 30CPM 용접조건에서만 균열이 발생하지 않았다. 표 5는 필렛 고온균열 시험편에 대한 PT 시험결과를 그리고 그림 4는 전류 350A에서 용접속도 30CPM과 40CPM으로 용접된 Inconel 625 필렛 용접부의 PT 시험결과를 보여 주고 있다. 한편, 표 5에 보인 Alloy 59 용접부에 대한 인장시험 결과는 용접 입열이 증가함에 따라 Alloy 59 용접부 강도와 연신율이 저하되고 용접 입열 14.3kJ/cm까지 유럽 LNG 저장탱크 용접부에서 요구하는 인장강도 670N/mm²와 항복강도 450N/mm²를 만족하였다. 그림 5 보인 Alloy 59 용접부 미세조직은 v-austenite 기지조직에 탄화물이 주상정 입계 (dendrite boundary)를 따라 혼재한 양상을 보여주었다. Alloy 59 용접부는 용접 입열이 증가함에 따라 급격한 오스테나이트 입도의 변화는 관찰되지 않았으나 그림 6에 보인 미세균열 (micro-crack)이 증가하는 경향을 보여 용접 입열 증가가 강도 및 연신율 감소에 어느 정도 연관이 있는 것으로 판단되었다.

표 6 : 필렛 균열시험 결과

종 류	균열 발생여부	길이 (mm)
FA	미발생	0
FB	발생	200
FC	발생	25
FD	발생	30
FE	미발생	0
FF	미발생	0
FG	미발생	0

그림 4 : 필렛 고온균열시험 용접부

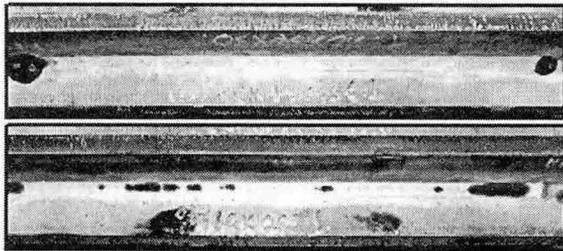
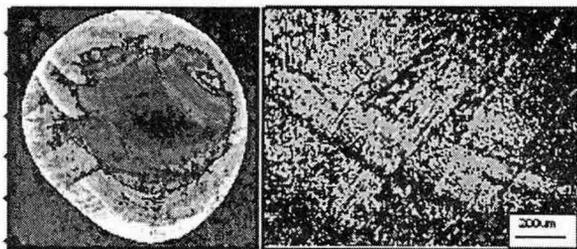


표 7 : Alloy 59 개선 용접부 강도시험결과

종 류	인장강도 (N/mm ²)	항복강도 (N/mm ²)	연신율 (%)
GA	708	454	46.8
GB	678	466	47.6
GC	648	418	39.2

그림 5 : Alloy 59 용접부 미세균열



4. 결 론

이상의 실험을 통한 얻은 결과를 정리하면 아래와 같다.

- 1) 필렛 균열시험에서 Alloy 59는 Inconel 625 SA 용접부보다 상대적으로 우수한 고온균열 저항성을 보였다.
- 2) 용접 전류와 속도가 증가하면 Inconel 625 용접부의 고온균열 민감성은 높아진다.
- 3) Alloy 59 용접부 강도는 입열이 증가함에 따라 감소하며, 14kJ/cm 정도까지 유럽 LNG 탱크 용접부에서 요구하는 인장강도 670N/mm², 항복강도 450N/mm²를 만족하였다.
- 4) 입열 증가에 따른 Alloy 59 용접부 강도 저하는 (micro-crack) 발생에 영향이 있는 것으로 판단된다.

참고 문헌

- *1. IIS/IIW-1208-93 : Review of experience with the longitudinal bend test for microfissurig susceptibility of deposited weld metal.
- *2. IIS/IIW-1332-96 : Welding of high-molybdenum nickel-base alloys, D. E. Jordan